

Meteorolojik kuraklık modellemesi ve Türkiye uygulaması

Sevinç SIRDAŞ*, Zekai ŞEN

İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Kuraklık diğer doğal afetler arasında canlı yaşamı ve ekonomisi için en büyük etkiye sahip, farklı meteorolojik ve çevresel şartlar altında gelişen en önemli afettir. Zamansal kuraklık değerlendirmesinin basit yöntemi ortalama zaman periyotlarında birçok zaman ölçeği için yağış kayıplarının miktarını belirlemede kullanılan standart yağış indisi (SYİ)'dir. Standart yağış zaman serisinden gidilerek kuraklık genliği, süre ve şiddet değerleri farklı kesim seviyeleri için elde edilmiştir. Kuraklık süresi ve genliği arasındaki ikili ilişki saçılma grafiklerine en uygun doğrunun geçirilmesi ile sağlanmıştır. Türkiye için işletmeye dayalı kuraklık izlemesi, minimum ve maksimum kuraklık büyüklükleri alansal kuraklığın yayılımını tanımlamak için haritalama yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: SYİ, alansal-zamansal kuraklık izleme, gidişler analizi, kuraklık genliği, süre, şiddet.

Meteorological drought modelling and application to Turkey

Abstract

Droughts are among the most significant natural hazards that might damage human life and property under different meteorological and environmental conditions. Droughts are precipitation deficit related phenomena and their continuation for extended periods that leads to water shortages which results in, agricultural food deterioration concerning both quantity and quality aspects, social disruptions in addition to economically undesirable consequences. The simplest methodology of temporal drought assessment is the standardized precipitation index (SPI) which is used to quantify the precipitation deficit for several time scales, i.e. time averaging periods. On the basis of SPI, a drought event is defined for each time scale as a period in which the SPI is continuously negative and the SPI reaches a value of -1.0 or less. The Standardized precipitation time series is commonly used the run analysis for the identification of various drought characteristics such as the duration, magnitude, and intensity at different standard truncation levels. The relationships between the drought duration and magnitude are provided in the form of scatter diagrams with the best straight-line fits. These are obtained for different truncation levels. In real-time drought monitoring across Turkey, minimum and maximum of these drought descriptors should be mapped in order to identify areal drought stricken and wet areas so as to transfer water from wet to dry regions.

Keywords: SPI, spatio-temporal drought monitoring, run analysis, drought magnitude, duration, intensity.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Sevinç SIRDAŞ. sirdas@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 68 42.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi'nde tamamlanmış "Meteorolojik kuraklık modellemesi ve Türkiye uygulaması" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 28.11.2002 tarihinde dergiye ulaşmış, 27.01.2003 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.07.2003 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Dünya nüfusunun artması, şehirleşme, iklim değişimleri, orman tahribatları, çölleşme sonucunda kuraklık toplum, çevre ve ülkeleri tehdit eden boyutlara ulaşmaktadır. Kuraklıkların ekonomik ve toplumsal boyutları vardır. Toplumun ekonomisi, sağlığı, psikolojisi ve ticareti ile yakından ilgilidir. Kuraklık dünyada etkisini gittikçe arttırmasına rağmen kapsamı henüz tam anlaşılmamış ve etkileri yeterince değerlendirilmemiştir. Bunun doğal sonucu olarak kuraklığın kesin tanımı yapılamamaktadır. Yapılan tanımlar mesleklere göre meteorolojik, hidrolojik, tarımsal, coğrafik veya endüstriyel, enerji üretimi, su temini, denizcilik, mesire yerleri bakımından olmaktadır (Şen, 2001). Dünya ve ülkemizde bugüne kadar çeşitli amaçlara yönelik olarak kuraklık araştırmaları yapılmıştır. Meteorologlar yağışlar, sıcaklık, nem, buharlaşma v.b. büyüklükler açısından; su kaynakları mühendisleri, akarsular, yeraltı suları, su biriktirme hazneleri, göller açısından; tarımcı bitki açısından; ekonomistler insanların yaşamı açısından kuraklığı incelemişlerdir. Kuraklık çalışmalarında özellikle beklenen kuraklığın uzunluğu, büyüklüğü ve yinleme aralığını bilmek gereklidir. Bu nedenle kuraklık süresi, şiddeti/büyüklüğü ve kapladığı alan gibi kuraklık özelliklerini belirlemek gereklidir. Araştırmacılar kuraklığı ortaya koymak ve aralarındaki ilişkileri belirlemek için, De Martonne, Thornthwaite, Palmer kuraklık şiddeti indisi, gidişler analizi, istatistiksel ve stokastik yöntemler gibi çeşitli yöntemleri günümüze kadar kullanmışlardır. Yevjevich (1967), kuraklık özelliklerinin nesnel tanımı sağlamanın yolu olarak "Gidişler Kuramı"nın kullanımını önermiştir. Aynı yazar (1975) yılında negatif gidişleri kullanarak kararlı zaman serilerinin kuraklıkların analitik araştırılması, kararlı stokastik süreçlerin kuraklık özelliklerini saptamak için deneysel yaklaşım, deneysel sonuçları ile saptanmış sonuçların analizini, periyodik-stokastik süreçlerin yardımıyla gerçekleştirmiştir.

Russell ve diğerleri (1970) yaptıkları çalışmada, Massachusetts eyaleti için kuraklık analizi

yapmışlardır. Bu çalışmada iklim çoklu değişkenli bir yoruma sahip olduğu için, sıcaklık, yağış, güneş radyasyonu ve diğer faktörler iklimin değişimi üzerinde etkili olabilir. Bunların çoğu fazla veya az kuraklıkla ilgilidir. Kuraklığın en önemli elemanı yağıştır. Yağış hem alansal hem de zamansal değişime sahiptir. Kuraklığı anlamak için yağış, serisinin uzun dönem yıllık değişimlerini incelemeliyiz. Burada basit dönüşüm için her bir serinin uzun dönem ortalamalardan 4 yıllık toplamları seçilmiştir. t yılda dönüşüm değişiminin değeri şöyle verilebilir:

$$\Delta t \equiv \sum_{j=t-3}^t (P_j - P) \quad (1)$$

Burada P_j ; "j" yıl için toplam yağış, P yıllık yağışın uzun dönem ortalaması ve Δt toplam sapmadır. Kısa dönem yağış etkinliği için Massachusetts'de Palmer'in (1965) geliştirdiği indis kullanılmıştır. Bu aynı zamanda toprak neminin de bir ölçüsüdür. Su kaynakları yönetimi için en önemli ve anlaşılması gereken unsurlar kuraklığın su toplama haznesindeki süresi, tekerrürü ve şiddetinin bilinmesi, sistemin yönetimi için şarttır.

Stokastik analiz, yağış süreci için maksimum yağışsız aralık olarak tanımlanmış, daha önce yapılan çalışmaların ışığında, homojen olmayan Poisson süreci için genelleştirmişlerdir (Gupta ve Duckstein, 1975). Lee ve diğerleri (1986) yıllık akış serileriyle uzun yıllar kuraklık süresinin sıklık analizi yaklaşımını geliştirmişlerdir. Jackson (1975) kuraklık uzunlukları için Markov karışım modellerini incelemiştir. Modellerin uzun ve şiddetli kuraklıklarla meydana gelen yapay akım kayıtları için özellikle etkili olduğunu ortaya koymuştur.

Yevjevich (1976) kuraklıkların alan-eksiklik-şiddet özellikleri incelenmiştir. Özellikle bu çalışmada, kararlı stokastik bileşen aylık yağışın alan-zaman sürecine ilişkin matematiksel bir model geliştirmiştir. Ayrıca, incelenen alanın büyüklüğünün etkileri de gözönüne alınmıştır. Gidiş özellikleri, periyodik-stokastik süreç

analitik olarak araştırılmıştır. Şen (1976a, b, 1977a, b, 1980a, b, c, 1989, 1990, 1991) kuraklık şiddeti ve süresiyle ilgili bir çok çalışmalar yapmıştır. Gözlemlerin birinci mertebeden lineer bağımlı olmaları halinde, gidiş özelliklerinin çeşitli istatistiksel ve olasılık büyüklükleri hakkında sayısal sonuçlara ulaşmayı olanaklı kılacak analitik bir yaklaşım geliştirilmiştir (Şen, 1976a).

Günümüzde birkaç klimatolog ve meteorolog, kuralığı, kurak ve yarıkurak alanlarda görülen normal bir iklim olarak kabul ederler (Gbeckor-Kove, 1989). Klugman (1978) A.B.D. orta bölgesinin üst kısmında, kuraklığın yer ve zamana ilişkin olarak Palmer kuraklık şiddeti indisini uygulamıştır. Shafer ve Dezman (1982) Yüzey Suyu İhtiyacı İndisini (YSİİ) geliştirmişlerdir. YSİİ Palmer Kuraklık Şiddeti İndisine (PKŞİ) ilaveten topoğrafik değişiklikleri, akış ve kar birikimini de dikkate almıştır. Havzalar arasında karşılaştırmalar yapabilmek için standartlaştırılmıştır. Alley (1984) PKŞİ'nin sınırları ve varsayımları üzerinde bir çalışma yapmıştır. Bölgesel indis olan PKŞİ'nin yapısını incelemiştir. Farklı yerler ve aylar için PKŞİ'nin değerlerini standartlaştırmak için kullanılmış yöntemin çok sınırlı karşılaştırmalar üzerine kurulduğuna dikkat çekmiştir. PKŞİ yöntemini çeşitli sınırlamalarının ve eksik yanlarının olmasına karşın, yararlı bir kuraklık gözlem aracı ve uygun biçimde ele alındığında, itibar edilebilecek sonuçlar verdiği ortaya konmuştur. Karl (1986) PKŞİ duyarlılığı ve potansiyel evapotranspirasyonu içine alan katsayıların, Palmer'in Z indisine ilişkin kalibrasyonu ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Bazı tarım ve orman yangın koruması uygulamalarına önemle değinmiştir. Z indis, PKŞİ ve Palmer Hidrolojik Kuraklık İndisi'ne göre ABD için haritalar hazırlanmıştır. Su biriktirme haznesinin düzenlenmiş sisteminde akım yılını aşan dönem (Kritik Periyot "KP" << 12 ay) yıllık zaman-serisi verisi kullanarak analiz edilebilir (Montaseri ve Adeloye, 1999). Literatürde yaygın olarak kullanılmakta olan standart talep parametresi "m_t" şu şekilde tanımlanmıştır:

$$m_t = \frac{1 - \alpha}{CV} \quad (2)$$

Burada α ; yıllık talep ve CV ise değişim katsayısıdır (standart sapmanın ortalamaya oranı). Bu çalışmaya benzer diğer bir çalışma Oğuz ve Bayazit (1991) tarafından yapılmıştır. Çalışmalarında ("KP" >> 12 ay) su biriktirme haznesi sisteminde KP'un istatistiksel özelliklerini Monte Carlo simülasyon tekniği ile çalışmışlardır.

McKee ve diğerleri (1993) kuraklığı tanımlamak ve izlemek için Standart Yağış İndisi (SYİ)'ni geliştirdi. Thom (1966) iklimsel yağış serilerine en uygun dağılımın Gamma olduğunu buldu. SYİ'nde de Gamma olasılık yoğunluk fonksiyonu kullanılır. Her yıl için 3, 6, 12, 48 aylık zaman dilimleri için Gamma olasılık yoğunluk fonksiyonu hesap edilmiştir. Araştırma yapılan istasyonlar için verilen ay ve zaman ölçeği için gözlenmiş yağış olaylarının kümülatif olasılıkları tesbit edilmiştir. Toplam olasılık fonksiyonunu belirlemek için Press ve diğerleri (1992) faydalınarak analitik yöntem kullanılmıştır. Toplam olasılık, H(X), standart normal rastgele değerler Z, ortalaması 0 ve standart sapması 1 olarak dönüştürülür. Kavramsal olarak, SYİ Z-skor veya standart sapması ortalamasının altında ve üstünde salınma durumunu ifade eder. Ancak, orijinal yağış dağılımının çarpık olduğu kısa zaman ölçeklerinde bu doğru değildir. Bu çalışmada, SYİ 3 ay kısa dönem veya mevsimlik değişim için kullanılmıştır. 12 aylık orta dönem kuraklık için, 48 ay; uzun dönem kuraklık indis olarak göz önünde tutulmuştur.

McKee ve diğerleri (1999) 1996'daki kuraklık şartlarının ABD için standart yağış indis ile izlenmesini çalışmışlardır. Kuraklığın tasvir edilmesi ve izlenmesi zordur. SYİ'nin faydası Palmer'den daha çabuk kurak ayları göstermesi ve farklı zaman dilimlerinde hesaplama yapılabilmesidir. Bir çok su sağlama planlamacısı birden fazla indise başvurarak karar verir. Kuraklık indisleri, yaygın olarak kullanılan Palmer kuraklık şiddeti indis (PKŞİ), planlama için kuraklığın izlenmesini ve önleme politikaları geliştirilmesine sınırlı olarak cevap verir. SYİ basittir, zamanla esnektir ve su kaynaklarının bütün zaman dilimleri için izlenmesine izin verir.

Problemin yapısı

Bu çalışmada daha önceki kısımlarda belirtildiği gibi dünya iklimi tarih boyunca değişimler göstermiştir. Buna bağlı olarak ortaya çıkan kuraklığın alansal ve zamansal değişimleri de farklılıklar göstermektedir. Atmosferdeki karbondioksit miktarının giderek hızlı bir biçimde artış göstermesi, hava sıcaklığının da artışı beraberinde getirmekte, bu da yerkürenin ısınmasına yol açmaktadır. Geçtiğimiz 100 yılda deniz seviyesi ortalama 10-25 cm yükselmiştir. Bu olayın 1860 yılından beri düzenli olarak ölçülen ortalama hava sıcaklığının 0.3-0.6 °C yükselmesi ile çok yakın ilişkisi vardır. Modeller deniz seviyesinin 2100 yılına kadar 15 - 95 cm yükseleceğini göstermektedir. Kloroflorokarbonların yol açtığı bu olumsuzlukların canlı yaşamında istenmeyen sonuçlar doğuracağı öne sürülmektedir. Bu kuraklaşma eğiliminin 36 derece kuzey paralelinin üstünde hissedilmeyeceğini, ancak Büyük Sahra'nın birkaç yüz kilometre kuzeye çekileceği küresel anlamda belirtilmektedir. Bunun yanında mikro ölçekte gözlenecek değişimlerle ilgili çalışmaların yapılması gerekmektedir (Tilus, 1991).

Kuraklığa ilişkin incelemelerin yapılması, hidrometeorolojik zaman serilerinin araştırılması, verilerin birbiriyle olan ilişkilerinin belirlenmesi, kurak dönemlerin süresi, genliği ve şiddetinin bulunması özellikle su yapılarının planlanmasına ve işletimine yönelik yapılan çalışmalarda, tarımsal ve meteorolojik çalışmalarda son derece önemlidir. Milyonlarca yıllık bir zaman ölçeğinde iklim her zaman bir değişim göstermiştir. Bu değişiklikler, günümüze kadar genellikle hep doğal olaylar tarafından başlatılmıştır. Ancak günümüzde sanayi devrimi ve insan faaliyetleri ile birlikte artış göstermiştir. Bu olayların hemen hepsinin anlaşıldığı söylenemez, bununla birlikte, mevsimler ve yıllararası değişimlerin nedeni olarak da, atmosfer-okyanus ilişkileri gösterilmektedir. Ayrıca buzul ve buzul geçiş evreleri gibi olaylar arasında, büyük ölçekte iklimsel oynamalara güneşteki etkinliklerin yol açtığına inanma eğilimi ağır basmaktadır, fakat henüz kesinlik kazanmamıştır.

Öte yandan kuraklık tanımının tam olarak yapılamamasının bir nedeni de, akademik çalışma alanları tarafından ele alınan kavramlardır. Örneğin; hidrometeorologlar yağışın, hidrologlar akışın, ziraatçiler ürün için toprak neminin yetersiz olduğu, ekonomistler ise toplumun üretim ve tüketim faaliyetlerini etkileyen su azlığı bağlamında kuraklıkla ilgilenir. Bunlara ilaveten kuraklık kavramı, farklı iklim bölgeleri ve su kaynakları ile de değişiklik göstermektedir. Suudi Arabistan'ın bazı bölgelerinde yağışsız geçen 2 veya 3 yıldan daha fazla süre, Bali'de yağmursuz geçen 7 gün veya daha fazla süre, Libya'da ise iki yıldan daha fazla yağmursuz geçen süre kuraklık olarak ifade edilmektedir (Dracup v. diğ., 1980). Kuraklık tanımları pek çok bakımdan farklılık göstermesine rağmen, hepsinde de analizcinin, kuraklık olayının türünü doğru olarak tanımlamak için belli kararlar alması gerekir. Bu kararlar yağış, akış veya toprak neminin hangisi ile ilgileneceği, ortalama periyodun (ay, mevsim veya yıl) ne alınacağıdır.

Ülkemizde iklim sınıflandırmasında yarı-kurak bir bölgede yer almaktadır. Bu nedenle, kuraklığın izlenmesi ve önceden önlemlerin alınması önem arz etmektedir. Dünyanın farklı bölgelerinde geniş alanlarda ortaya çıkan kuraklık beraberinde açlığı, kıtlığı ve işsizliği getirdiğinden toplum üzerinde kalıcı etkileri olan meteorolojik karakterli doğal afettir. Kuraklık, eğer izlenebilirse etkileri en aza indirilebilir. Kuraklığın alansal ve zamansal değişimi takip edilebilir. Geçmiş dönemlere ait yağış verisinin analizi ile kuraklık genliği (alanı), süresi ve şiddeti elde edilir.

Gidişler analizi

Kuraklık analizinde, verilmiş olan yağış zaman serisi X_1, X_2, \dots, X_n ise:

$$x_i = \frac{X_i - \bar{X}}{S_x} \quad (3)$$

şeklinde tanımlanır. Burada, \bar{X} , verilen serinin aritmetik ortalamasını, S_x ise standart sapmasını göstermektedir. Şekil 1'de gösterildiği üzere,

kurak periyotlar L_1, L_2, \dots, L_m 'dir. Burada m verilen bir kesme seviyesi X_0 için kurak periyot sayısıdır. Genlik ise her kurak periyodun altındaki eksikliklerin toplamı olarak elde edilecek şekilde M_1, M_2, \dots, M_m dizisi olarak gösterilmiştir.

Notasyon olarak, her hangi j genliği, j -inci kurak periyot altındaki eksikliklerin toplamı olarak:

$$M_j = \sum_{i=1}^m |X_0 - x_i| \quad (4)$$

elde edilir. Diğer taraftan, kuraklık şiddeti, kuraklık süresinin kuraklık genliğine oranından aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$I_j = \frac{M_j}{L_j} \quad (5)$$

Gidişler yöntemiyle elde edilen M , L ve I değerleri standart yağış indisindeki (SYİ) aralıkların kullanılması ile sınıflara ayrılır. Çünkü burada elde edilen standart yağış değerleri farklı yolla elde edilen SYİ değerleri ile aynı değerlere sahiptir. Bu nedenle SYİ'de kullanılan sınıflar bu çalışmada kullanılmıştır (Tablo 1). Her kesme seviyesi ekstremleri (en küçük ve en büyük) $L_{\max}, L_{\min}, M_{\max}, M_{\min}, I_{\max}$ ve I_{\min} kuraklık özelliklerinin değerleri bulunabilir.

Her kesme seviyesinde, L ve M kartezyen koordinatlarda işaretlenerek bu iki değişkene uygun en iyi fonksiyon elde edilir.

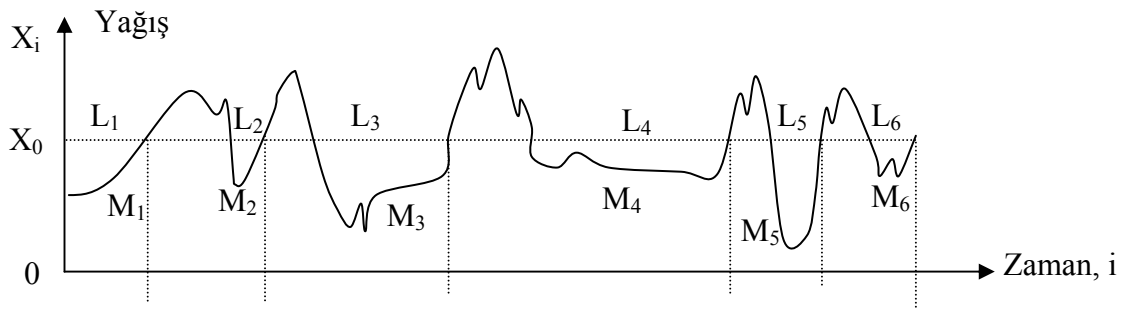
Tablo 1. SYİ sınıflandırma değerleri

SYİ değeri	Kuraklık Kategorisi
0.0 – (-0.99)	hafif
(-1.0) – (-1.49)	orta
(-1.5) – (-1.99)	şiddetli
-2 daha az	çok şiddetli

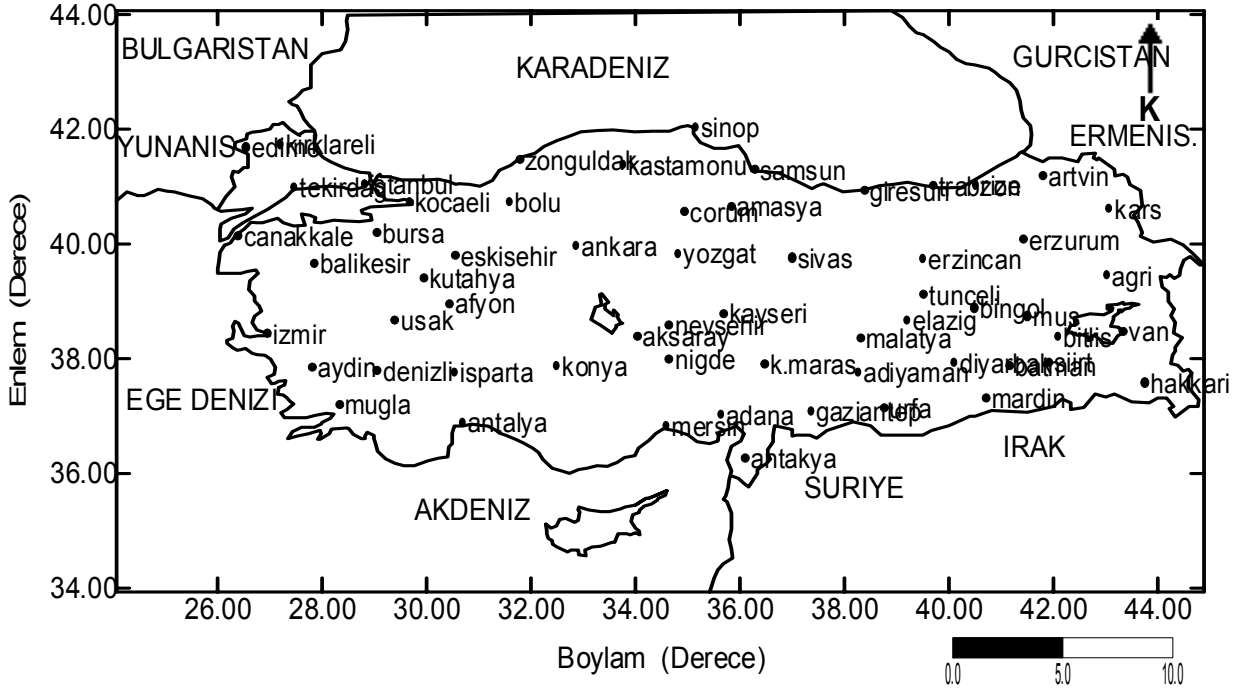
Uygulama

Bu çalışmada, Türkiye'de bulunan 60 büyük klima istasyonunun yaklaşık olarak 1930-1990 yılları arasındaki aylık yağış verileri kullanılmıştır.

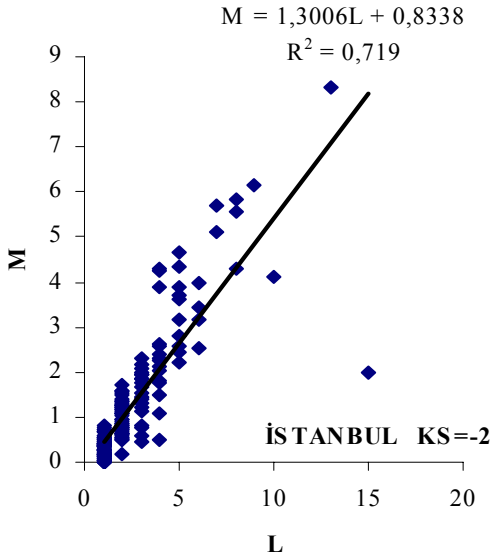
Bilindiği üzere, Türkiye 26° - 45° doğu boylamları ile 36° - 42° kuzey enlemleri arasında yer alan ve üç tarafı denizlerle çevrili bir yarım adadır (Şekil 2). Akdeniz, Ege, Karadeniz ve Marmara denizine kıyıları bulunmaktadır. Bunlardan, Marmara denizi bir iç deniz konumundadır. Güneyde, Toroslar, kuzeyde ise sahil boyunca İsfendiyar dağları ile kuşatılmıştır. Bunlardan farklı olarak, özellikle Ege ve Marmara bölgesi sahillerinde dağlar denize diktir. Bu durum, Ege ve Marmara bölgelerinin iç kesimlerinde de deniz etkisinin hisedildiği anlamına gelmektedir. Özellikle, deniz - kara etkileşimiyle oluşan yağışlar, Akdeniz ve Karadeniz'de geçiş engeli olarak dağlar ile karşılaşmaktadır. Ege ve Marmara bölgelerinde böyle bir durum söz konusu olmamaktadır. Şekil 3. ve 4.'de M ve L değerleri için elde edilen doğru denklemlerini görmekteyiz. Bu denklemler yardımı ile L değeri mevcut ise M değerini bulabiliriz. Bu denklemler on altı istasyonda farklı kesim seviyeleri için elde edilmiştir.



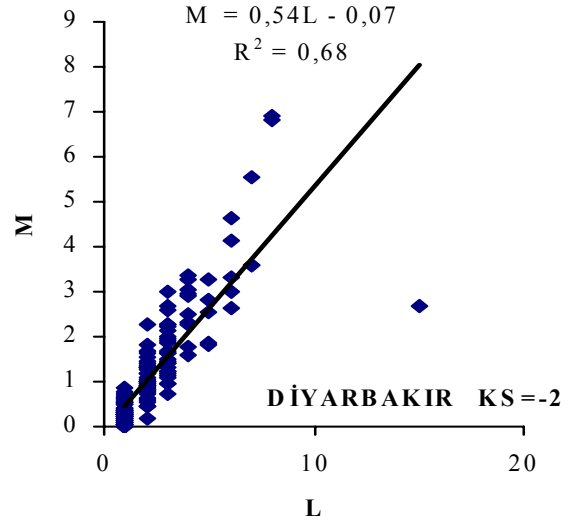
Şekil 1. Kurak ve sulak gidişler (M_j : kurak alan; L_j : kurak süre)



Şekil 2. Çalışma alanındaki istasyonların konumları



Şekil 3. Kesim seviyesi -2'de M ve L değerleri



Şekil 4. Kesim seviyesi -2'de M ve L değerleri

Ayrıca Şekil 5'te maksimum kuraklık durumunda Türkiye için kesim seviyesi (KS) -2'de M, L ve I değerlerinin alansal dağılımı elde edilmiştir.

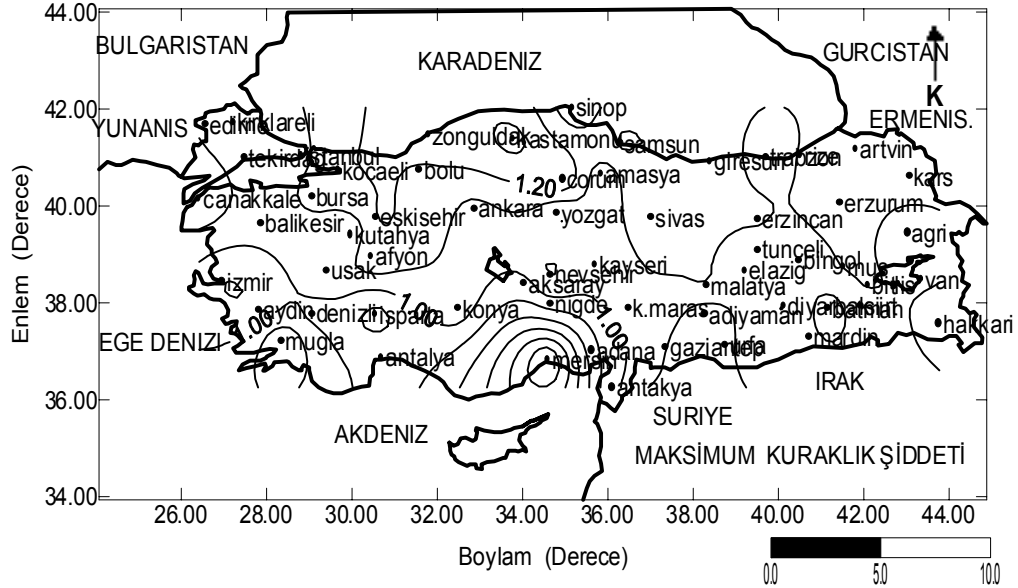
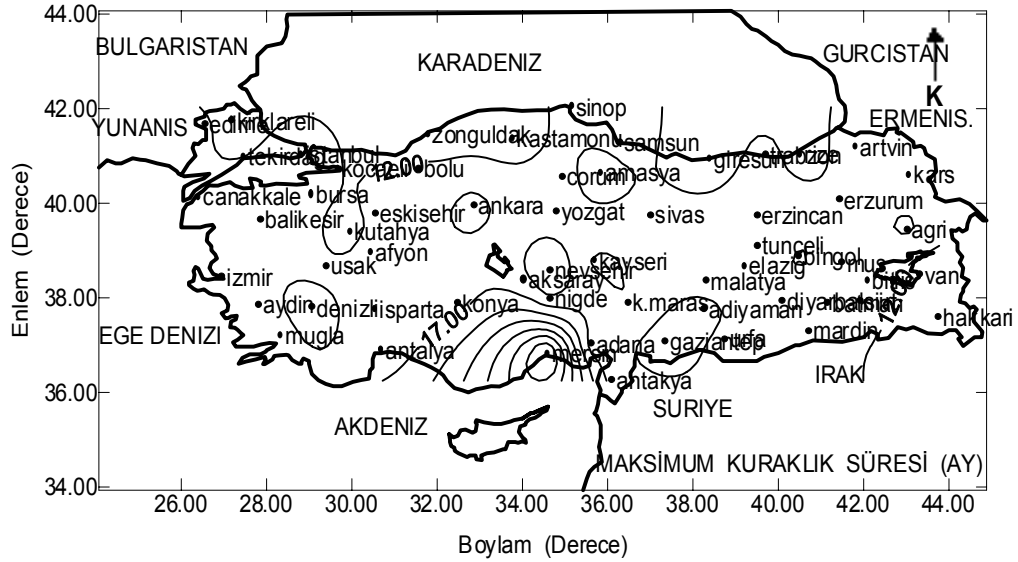
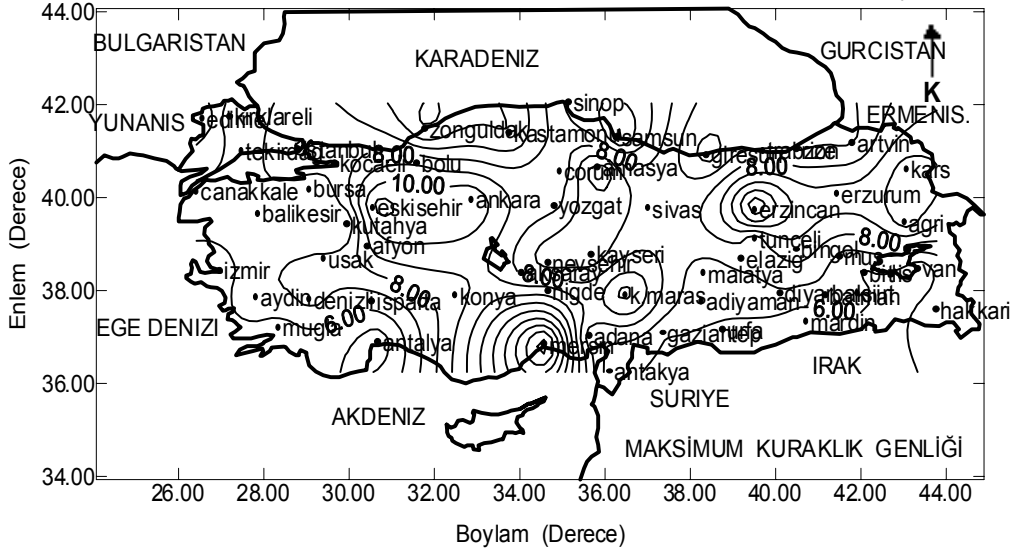
Sonuçlar ve öneriler

Dünya üzerinde Türkiye, yarı kurak bir bölgede bulunmaktadır. Bu kuraklığın ülkemiz açısından yukarıda ayrıntılı olarak verdiğimiz şekilde sürekli bir tehdit oluşturduğu anlaşılmaktadır. Bunu önlemenin en önemli koşulu kuraklığın bir merkez tarafından sürekli izlenmesidir. Ulusal

Kuraklık Önleme Merkezi (UKÖM)'nin bünyesinde farklı disiplinlerden araştırmacılar bulundurarak acil olarak kurulması gereklidir.

Bu çalışmada kuraklıkla ilgili olarak hem alansal hemde zamansal yeni yaklaşımlar getirilmiştir. Yağışın takibi için önemli elemanlar olan kuraklık genliği, süresi, şiddeti değişkenlerin maksimum ve minimum değerleri yağışın zaman serisinden faydalanılarak geliştirilen bilgisayar programı ile bulunmuş ve ülke geneli için haritalar hazırlanmıştır.

(Kesim Seviyesi -2)



Şekil 5. Türkiye genelinde maksimum kuraklıkta M, L ve I değerlerinin alansal dağılımı.

Dört kesim seviyesinde -0.5, -1, -1.5 ve -2'de maksimum kuraklık genliği, süre ve şiddet değerlerinin ülkemiz için alansal değişimleri elde edilmiştir. Kesim seviyesi arttıkça maksimum toplam su eksikliği artmaktadır genellikle 8 birim değerine sahip iken, Mersin'de artış göstermektedir. Maksimum toplam su eksikliği süresi kesim seviyesi arttıkça artmakta ve -2 kesim seviyesinde ortalama 12 ay iken Mersin'de 17 ayı geçmektedir. Maksimum kuraklık şiddeti -2 kesim seviyesinde 1 - 1.2 arasındadır. Mersin'de kuraklık şiddeti 1.5'a kadar çıkmaktadır.

Kuraklığın etkilerinin azaltılması için şu önerileri sıralayabiliriz;

- Tasarruf Eğitimi ile bilinçli su kullanımı ilkokuldan başlayarak öğrencilere verilmelidir.
- Afet yönetiminde bu çalışmada elde edilen M, L ve I değerlerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.
- M, L ve I değerlerin stokastik modeller yardımı ile gelecekle ilgili tahminleri geliştirilebilir.
- Kaynakların kullanımının düzenlenmesi, akılcı kullanma, kısıntılara gitme, suyun ekonomik değerinin artması, kurumsal önlemlerin alınması, koruma, teknolojik yenilikler ve arazi kullanımının değiştirilmesi gibi önlemlerin alınması,
- Ülkemiz yarı kurak bölgede bulunduğu için su biriktirme havzalarının işletilmesinde yapılan bu tür tez çalışmalardan faydalanılmalıdır. Toplam su eksikliğini tesbit edilmesi ile su kıtlığı bulunan bölgeye su fazlalığı olan bölgeden ne kadar su gerektiği bulunur. Böylece su transferi verimli bir işletmeyle yapılabilir. Eğer toplam su eksikliği süresi (L) biliniyorsa, su biriktirme havzasındaki suyun işletilmesinde bu durum gözönünde bulundurulmalıdır.

Kaynaklar

- Alley, W. M., (1984). The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions, *Journal Cilm. Appl. Meteor.*, **23**, pp. 1100-1109.
- Dracup, J. A., Lee, K. S. ve Paulson, E. G., (1980). On the statistical characteristics of droughts. *Water Resour. Res.*, **16**, **2**, 297-302.

- Gbeckor-Kove, N., (1989). Drought and Desertification. WMO/TD, 286, WCAP, 7, 41 – 73, Geneva.
- Gupta, K. and Duckstein, L., (1975). A Stochastic Analysis of Extreme Droughts, *Water Resour. Res.*, **11**, **2**, pp. 221-228.
- Jackson, B. B., (1975). Markov Mixture Models for Drought Lengths, *Water Resour. Res.*, **11**, **1**, pp. 64-74.
- Karl, T. R., (1986). The Sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z- Index to Their Calibration Coefficients Including Potential Evapotranspiration, *Journal Clim. Appl. Meteor.*, **25**, pp. 77-86.
- Klugman, M. R., (1978). Drought in the Upper Midwest, 1931-1969. *Journal Appl. Meteor.*, **17**, **10**, 1425-1431.
- Lee, K. S., Sadeghipour, J. ve Dracup, J. A., (1986). An approach for frequency analysis of multiyear drought durations. *Water Resources*, **22**, **5**, pp. 655-662.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. ve Kleist, J., (1993). The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales", *Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA*, pp.179-184.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. ve Kleist, J. (1999). Drought monitoring with multiple time scales. *Reprints, 9th Conference on Applied Climatology, Anaheim, California*, 233-236.
- Montaseri, M. ve Adeloye, A. J., (1999). Critical period of reservoir systems for planning purposes. *Journal of Hydrology*, **224**, pp. 115-136.
- Oğuz, B. ve Bayazit, M., (1991). Statistical properties of the critical period. *Journal of Hydrology*, **126**, s. 183-194.
- Palmer, W. C., (1965). *Meteorological Drought*, U.S.A. Weather Bureau Res. Paper No. **45**, 58.
- Press, W. H., Flannery, B. P., Teukolsky, S. A. ve Vetterling, W. T., (1992). *Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing (Second edn.)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Russell, C. S., Arey, D. G. ve Kates, R. W., (1970). Drought and water supply: implications of the Massachusetts experience for municipal planning. Baltimore, Published for Resources for the Future by the Johns Hopkins Press.
- Shafer, B. A. ve Dezman, L. E. (1982). Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to Assess The Severity of Drought Conditions in Snowpack Runoff Areas, *Proceedings of the Western Snow Conference*, pp.164-175.

- Şen, Z., (1976a). Yıllık Akış Serilerinin Kurak Devreleri, Sakarya D.M.M. Akademisi Dergisi, 2, İstanbul, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, s. 79-94.
- Şen, Z., (1976b). Wet and Dry Periods of Annual Flow Series, Journal of the Hydraulics Division, ASCE, **102**, HY10, Proc. Paper 12497, pp. 1503-1514.
- Şen, Z., (1977a). Autorun analysis of hydrologic time series. J. Hydrol., **36**, 75-88.
- Şen, Z., (1977b). Run-Sums of Annual Flow Series, Journal of Hydrology, **35**, pp. 311-324.
- Şen, Z., (1980a). The numerical calculation of extreme wet and dry periods in hydrologic time series. Hydrol. Sci. Bull. 21, **2**, 135-142.
- Şen, Z., (1980b). Critical Drought Analysis of Periodic-Stochastic Processes. Journal of Hydrology, **46**, pp. 251-263.
- Şen, Z., (1980c). Regional drought and flood frequency analysis: theoretical consideration. Journal of hydrology, **46**, pp.265-279.
- Şen, Z., (1989). The Theory of Runs With Applications to Drought Prediction-Comment. Journal of Hydrology, **110**, pp. 383-391.
- Şen, Z., (1990). Critical drought analysis by second order Markov chain. J. Hydrol., **120**, 183-202.
- Şen, Z., (1991). On The Probability of The Longest Run Length in an Independent Series. Journal of Hydrology, **125**, pp. 37-46.
- Şen, Z., (2001). Kuraklık Kırımı Yuvarlak Masası Toplantısı, 20 Mart 2001, Ankara Hilton Oteli.